

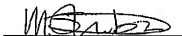
VERIFICATION OF TRANSLATION

Sir:

I, Masashi Shibata, whose business address is at 565 Pilgrim Drive, Suite D,  
Foster City, California 94404, declare:

- (1) that I know well both the Japanese and English languages;
- (2) that I translated the certified copy of Japanese Patent Application number JP2002-249673, filed on August 28, 2002, entitled "ETCHING APPARATUS, ETCHING METHOD, AND OPENING PLATE USED THEREIN", from Japanese to English;
- (3) that the attached English translation is an accurate and correct translation of the certified copy of Japanese Patent Application number JP2002-249673 to the best of my knowledge and belief; and
- (4) that all statements made of my own knowledge are true and that all statements made on available information are believed to be true.

Signature:



Printed Name: Masashi Shibata

Date: 10/20/08

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日  
Date of Application:

2002年 8月28日

出 願 番 号  
Application Number:

特願2002-249673

[ ST.10/C ]:

[ JP2002-249673 ]

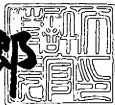
出 願 人  
Applicant(s):

京セラ株式会社

2003年 5月20日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3036903

【書類名】 特許願

【整理番号】 27180

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 C23F 4/00

【発明者】

【住所又は居所】 滋賀県八日市市蛇溝町長谷野 1 1 6 6 番地の 6 京セラ  
株式会社滋賀八日市工場内

【氏名】 猪股 洋介

【特許出願人】

【識別番号】 000006633

【住所又は居所】 京都府京都市伏見区竹田烏羽殿町 6 番地

【氏名又は名称】 京セラ株式会社

【代表者】 西口 泰夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 005337

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 エッチング装置、エッチング方法、およびそれに用いる開口プレート

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 エッチングされる基板の表面側に開口部が多数形成された開口プレートを配置したエッチング装置において、前記開口プレートの開口部の対向する端面の角部に面取り部を設けたことを特徴とするエッチング装置。

【請求項 2】 前記開口プレートが金属からなることを特徴とする請求項 1 に記載のエッチング装置。

【請求項 3】 前記開口プレートがアルミニウムからなることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のエッチング装置。

【請求項 4】 前記エッチング装置が反応性イオンエッチング装置であることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載のエッチング装置。

【請求項 5】 エッチングされる基板の表面側に開口部が多数形成された開口プレートを配置してエッチングするエッチング方法において、前記開口プレートの開口部の対向する端面の角部に面取り部を設けてエッチングすることを特徴とするエッチング方法。

【請求項 6】 エッチングされる基板の表面側に配設される開口部が多数形成されたエッチング装置用開口プレートにおいて、前記開口プレートの開口部の対向する端面の角部に面取り部を設けたことを特徴とするエッチング装置用開口プレート。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明はエッチング装置、エッチング方法、およびそれに用いる開口プレートに関し、特に太陽電池などに用いられるシリコン基板等の表面を粗面化するのに好適に用いることができるエッチング装置、エッチング方法、およびそれに用いる開口プレートに関する。

【0002】

## 【従来の技術および発明が解決しようとする課題】

太陽電池は入射した光エネルギーを電気エネルギーに変換するものである。太陽電池のうち主要なものは使用材料の種類によって結晶系、アモルファス系、化合物系などに分類される。このうち現在市場で流通しているのはほとんどが結晶系シリコン太陽電池である。この結晶系シリコン太陽電池はさらに単結晶型、多結晶型に分類される。単結晶型のシリコン太陽電池は基板の品質がよいため、高効率化が容易であるという長所を有する反面、基板の製造コストが大きいうという短所を有する。これに対して多結晶型のシリコン太陽電池は基板の品質が劣るために高効率化が難しいという短所はあるものの、低コストで製造できるという長所がある。また、最近では多結晶シリコン基板の品質の向上や素子化技術の進歩により、研究レベルでは18%程度の変換効率が達成されている。

## 【0003】

一方、量産レベルの多結晶型のシリコン太陽電池は低コストであったため、従来から市場に流通してきたが、近年環境問題が取りざたされる中でさらに需要が増してきており、低コストでより高い変換効率が求められるようになった。

## 【0004】

電気エネルギーへの変換効率を向上させるため、従来から様々な試みがなされてきた。そのひとつに基板の表面に入射する光の反射を少なくする技術があり、入射する光の反射を低減することで電気エネルギーへの変換効率を高めることができる。

## 【0005】

シリコン基板を用いて太陽電池素子を形成する場合に、基板の表面を水酸化ナトリウムなどのアルカリ水溶液でエッチングすると、表面に微細な凹凸が形成され、基板の表面の反射をある程度低減させることができる。

## 【0006】

面方位が(100)面の単結晶シリコン基板を用いた場合は、このような方法でテクスチャ構造と呼ばれるピラミッド構造を基板の表面に均一に形成することができるものの、アルカリ水溶液によるエッチングは結晶の面方位に依存することから、多結晶シリコン基板で太陽電池素子を形成する場合、ピラミッド構造を

均一には形成できず、そのため全体の反射率も効果的には低減できないという問題がある。

【0007】

このような問題を解決するために、太陽電池素子を多結晶シリコンで形成する場合に、基板の表面に微細な凹凸を反応性イオンエッチング (Reactive Ion Etching) 法で形成することが提案されている (たとえば特公昭60-27195号、特開平5-75152号、特開平9-102625号公報参照)。すなわち、微細な凹凸を多結晶シリコンにおける不規則な結晶の面方位に左右されずに均一に形成し、特に多結晶シリコンを用いた太陽電池素子においても、反射率をより効果的に低減しようとするものである。

【0008】

図3に太陽電池素子の構造を示す。図3において、1はシリコン基板、2は凹凸、3は受光面側の不純物拡散層、4は裏面側の不純物拡散層 (BSF)、5は反射防止膜、6は表面電極、7は裏面電極である。

【0009】

前記シリコン基板1は単結晶もしくは多結晶のシリコン基板である。この基板1はp型、n型いずれでもよい。単結晶シリコンの場合は引き上げ法などによって形成され、多結晶シリコンの場合は鋳造法などによって形成される。多結晶シリコンは、大量生産が可能で製造コスト面で単結晶シリコンよりもきわめて有利である。引き上げ法や鋳造法によって形成されたインゴットを300 $\mu$ m程度の厚みにスライスして、15cm $\times$ 15cm程度の大きさに切断してシリコン基板1となる。

【0010】

シリコン基板1の表面側には、入射した光を反射させずに有効に取り込むために微細な凹凸2を形成する。これは、真空引きされたチャンバ内にガスを導入し、一定圧力に保持して、チャンバ内に設けられた電極にRF電力を印加することでプラズマを発生させ、生じた活性種であるイオン・ラジカル等の作用によって基板の表面をエッチングするものである。反応性イオンエッチング (RIE) 法と呼ばれるこの方法は図4および図5に示すような装置を用いる。

## 【0011】

図4および図5において、8はマスフローコントローラ、9はRF電極、10は圧力調整器、11は真空ポンプ、12はRF電源、13はトレイである。装置内にマスフローコントローラ8部分からガスを導入するとともに、RF電極9からRF電力を導入することでプラズマを発生させてイオンやラジカルを励起活性化して、RF電極9の上部に設置されたトレイ13上のシリコン基板1の表面に作用させてエッチングする。図4に示す装置では、RF電極9を装置内に設置して1枚のシリコン基板1の表面をエッチングするが、図5に示す装置では、RF電極9を装置の外壁に設置して複数枚のシリコン基板1の表面を同時にエッチングするようにしている。

## 【0012】

発生した活性種のうち、イオンがエッチングに作用する効果を大きくした方法を一般に反応性イオンエッチング法と呼んでいる。類似する方法にプラズマエッチングなどがあるが、プラズマ発生の原理は基本的に同じであり、基板に作用する活性種の種類の分布をチャンバ構造、電極構造、あるいは発生周波数等によって異なる分布に変化させているだけである。

## 【0013】

エッチング中はシリコンがエッチングされて基本的には気化するが、一部は気化しきれずに分子同士が吸着して基板1の表面に残渣として残る。ガス条件、反応圧力、RFパワーなどをシリコンの残渣がシリコン基板1の表面に残るような条件に設定すると、確実に凹凸2を形成することができる。逆に、基板1の表面に残渣が残らないような条件では凹凸を形成することは困難である。

## 【0014】

しかしながら、凹凸を形成する条件は微妙であり、装置の構造によっても変化する。微細な凹凸2を均一に形成できない場合は、太陽電池の光電変換効率が低下し、個々の太陽電池の価値はその発電効率で決まることから、そのコストを低減するためには、太陽電池の変換効率を向上させなければならない。

## 【0015】

また、反応性イオンエッチング法で用いられる反応性イオンエッチング装置は

一般に平行平板電極型をしており、基板1を設置している電極9の側にRF電圧を印加し、他の一方の側および内部の側壁をアースに接続してある。この容器内部を真空ポンプで真空引きしてエッチングガスを導入して圧力を一定に保持しながら内部に配設した基板をエッチングする。このような手順を踏むことから、反応性イオンエッチング装置では真空引きおよび大気リークの待ち時間が多い。また、反応性イオンエッチング装置はLSIなどの精密な小型半導体素子に用いられることが多いが、太陽電池に用いる際には太陽電池自身の面積が大きいため、1回あたりの処理枚数が少なく、コストが高くなるという問題があった。そのため反応性イオンエッチング装置を太陽電池製造工程に用いる場合には、基板一枚あたりの処理時間をいかに短縮するかが重要なポイントの一つである。

## 【0016】

基板一枚あたりの処理時間を短縮する方法の一つとして、特願2001-130430による方法がある。この方法においてはシリコン基板1の粗面化法においてシリコン基板の表面にエッチング残渣を付着させながらエッチングして粗面化した後、このエッチング残渣を除去するが、このドライエッチング時にマスクとなる残渣を速く形成して凹凸の形成を促進させるために、基板1を多数の開口部15が形成された開口プレート14で覆ってエッチングする。この方法では凹凸2の形成速度が向上すると同時にバッチ内でのエッチングの均一性も向上する。

## 【0017】

この開口プレート14を図6に示す。図6において、15は開口部、16は側壁部を示す。図7はこの開口プレート14を基板1上に配置した状態を示す。図7において、14は開口プレート、1はシリコン基板などのエッチングされる基板、13はトレイ、9はRF電極、17は絶縁体、18はチャンバ壁を示す。開口プレート14はシリコン基板1と適当な距離を保って配設する。

## 【0018】

この方法を用いることにより、ドライエッチング時に大面積のエッチングが行えるようになり、より多数枚の基板1を一括処理することが可能となる。加えて凹凸2の形成速度も向上するため、処理時間も短くなり、基板一枚あたりの処理



時間を大きく短縮できる。

【0019】

開口プレート14とシリコン基板1との距離を保持するための方法としては、図6に示すように、例えば側壁部16を設けるのが簡単である。開口プレート14でシリコン基板1を覆ってエッチングする方法は、エッチングする面積が1mm角を越えるような大面積の場合に特に有効である。ところが、このような大面積の開口プレート14を作製すると、開口プレート14そのものの自重によって撓みが生じる。また、エッチング時のプラズマによって開口プレート14に熱がかかるため、自重による変形がさらに進行する可能性がある。大面積になればなるほど、シリコン基板1と開口プレート14の距離を正確に制御することが困難となる。そこで、その場合には開口プレート14の厚みを増したり、側壁部16の高さを増すなどの対策が有効である。開口プレート14の厚みを増すだけであると自重が増加して撓みが減らない場合があるため、開口プレート14の中央部の厚みを薄くするという方法も有効である。しかしながら、中央部の厚みを薄くする場合でも、少なくとも周辺部は厚くしなければならない。開口プレート14の撓みに対しては、その厚みを増加することで解決できる。

【0020】

ところが、開口プレート14を厚くすると、開口部15の個々の領域でプラズマが不安定となり、その度合いが増すと凹凸が形成されなくなるという問題がある。例えば開口プレート14の開口部15の対向する端面間の幅が3mmのときは、厚みが5mm以下ではプラズマは安定するが、厚みが5mmを越えると不安定になって凹凸の形成効率が悪くなる。

【0021】

プラズマが不安定になることの対策としては、開口部15の対向する端面の開口幅を大きくすることや、開口プレート14の厚みを薄くすることが有効である。しかしながら、開口部15の対向する端面の開口幅を大きくすると、残渣の閉じ込め効果が小さくなって、その直下における基板の表面での残渣の形成の促進効果が弱まり、凹凸の形成が遅くなる。そのためその部分での凹凸の形成が遅くなり、結果として開口部15がない部分のシリコン基板1の表面の凹凸の形成速

度と異なることになってムラが発生してしまう。

【0022】

また、開口部15の開口幅は開口プレート14全体の開口形状、開口率、開口ピッチ、開口プレート14とエッチングされる基板1との距離などとともに凹凸がより効率的に形成されるように設定するものであり、プラズマを安定化するために開口部15の開口幅を調整することは本来の目的を失うものであって本質的な解決にはならない。

【0023】

本発明は、このような開口プレートの開口部でプラズマが不安定になるという従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、半導体基板、特に太陽電池に用いられるシリコン基板の表面の凹凸を効率よく均一に形成するエッチング装置、エッチング方法、およびそれに用いる開口プレートを提供することを目的とする。

【0024】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、請求項1に係るエッチング装置では、エッチングされる基板の表面側に開口部が多数形成された開口プレートを配置したエッチング装置において、前記開口プレートの開口部の対向する端面の角部に面取り部を設けたことを特徴とする。

【0025】

上記エッチング装置では、前記開口プレートは金属からなることが望ましく、またアルミニウムからなることがさらに望ましい。

【0026】

また、上記エッチング装置では、前記エッチング装置が反応性イオンエッチング装置であることが望ましい。

【0027】

請求項5に係るエッチング方法では、エッチングされる基板の表面側に開口部が多数形成された開口プレートを配置してエッチングするエッチング方法において、前記開口プレートの開口部の対向する端面の角部に面取り部を設けてエッチ

ングすることを特徴とする。

【0028】

請求項6に係るエッチング装置開口プレートは、エッチングされる基板の表面側に配設される開口部が多数形成されたエッチング装置用開口プレートにおいて、前記開口プレートの開口部の対向する端面の角部に面取り部を設けたことを特徴とする。

【0029】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態を添付図面に基づき詳細に説明する。

図1に本発明に係るエッチング装置を示す。図1において、14は開口プレート、1はシリコン基板などのエッチングされる基板、13はトレイ、9はRF電極、17は絶縁体、18はチャンバ壁を示す。

【0030】

図2に開口プレートの開口部15の拡大図を示す。図2に示すように、本発明では開口部15の対向する端面の角部を面取り加工して面取り部18を設ける。これによりプラズマが不安定になりやすい開口部15の周辺での開口プレート14の厚みを擬似的に薄くすることができ、安定したプラズマを形成できるようになる。上述の例では開口幅 $l_1$ が3mm、厚み $t_1$ が6mmのアルミニウム製の開口プレート14を用いた場合、幅 $l_2$ と高さ $t_2$ がそれぞれ0.9mm以上のC面を形成することによってプラズマが安定して形成できるようになる。この面取り部8の幅 $l_2$ はエッチングの条件によって異なるもので、それぞれの条件に応じて自由に設定できる。したがって、本発明はこの値に限るものではない。

【0031】

また、面取り部18としては例えばR面を形成してもよいが、いずれにしても開口部5で開口プレート14を擬似的に薄くするものであればよい。また、この例では開口プレート14の開口部15をスリット形状としているが、例えば円形のような形状であってもよいし、四角形であってもよい。また、この開口パターンの並びも格子状あるいは千鳥状などのような並び方でもよい。

【0032】

開口プレート14の平面部に対する開口部14の締める割合である開口率は凹凸の形成に重要な役割を果たす。この開口率は5～40%であることが望ましい。開口率が5%よりも小さい場合は、シリコンのエッチングに必要なガスの供給が不十分となって残渣の形成速度が遅くなるために凹凸の形成が遅くなる。逆に、開口率が40%よりも大きい場合は、エッチングの際に生成するシリコン化合物からなる残渣を開口プレート14と基板1との間に閉じ込める効果が弱くなって残渣を形成する効果が弱くなる。

## 【0033】

本発明はエッチングチャンバの面積が1m角を越えるような大面積のエッチングを行う際に大きな効果があるが、小面積の場合でも有効に活用することができる。他のエッチング条件を変化させても均一性の改善が十分でないようなハードな問題が存在するときには本発明は特に有効である。

## 【0034】

開口プレート14の材質はアルミニウム材またはガラス材のいずれでもよい。開口プレート14の加工の容易さという面では金属が好ましいが、ステンレス系の金属ではシリコンのエッチングに用いるガスに曝されると腐食するために不適である。一方、エッチング中はプラズマに曝されるために発熱する。この温度は条件によって大幅に変わり、プラズマ中で温度が上昇しても凹凸の形成が終了すれば大気中で基板を取り出すといった工程となるために温度の上下動に耐える材質であることが好ましい。エッチングされる基板を多数並べて大面積にわたって一括してエッチングする場合には、ガラス材では脆くて破損しやすいために金属を用いることが好ましい。また、開口プレート14にさまざまな加工を施すための加工性の点から、開口プレート14の挽みを小さくするために自重が小さいことが望まれる点から、さらにシリコンをエッチングするガスに対する耐食性の点から、本発明においては特にアルミニウムを主成分とする開口プレート14を用いることが好ましい。

## 【0035】

## 【発明の効果】

以上のように、本発明に係るエッチング装置によれば、エッチングされる基板

の表面側に開口部が多数形成された開口プレートを配置したエッチング装置において、上記開口プレートの開口部の対向する端面の角部に面取り部を設けたことから、開口プレートの撓み強度を大きくするために厚みを厚くすることで発生する不安定なプラズマの条件を安定化させることができるようになり、その結果大面積でのエッチングが可能となって、高効率の太陽電池などに必要なシリコン基板の表面に凹凸を高タクトかつ低コストで形成することが可能となる。

## 【 0 0 3 6 】

また、請求項 5 に係るエッチング方法によれば、開口部の対向する端面の角部に面取り部を設けた開口プレートを用いてエッチングすることから、開口プレートの撓み強度を大きくするために厚みを厚くすることで発生する不安定なプラズマの条件を安定化させることができるようになり、その結果大面積でのエッチングが可能となって、シリコン基板の表面に凹凸を高タクトかつ低コストで形成することが可能となり、高効率の太陽電池を形成できる。

## 【 0 0 3 7 】

また、請求項 6 に係るエッチング装置用開口プレートによれば、開口部の対向する端面の角部に面取り部を設けたことから、開口プレートの撓み強度を大きくするために厚みを厚くすることで発生する不安定なプラズマの条件を安定化させることができるようになり、その結果大面積でのエッチングが可能となって、シリコン基板の表面に凹凸を高タクトかつ低コストで形成することが可能となり、高効率の太陽電池を形成できる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【図 1】

本発明に係るエッチング装置を説明するための図である。

## 【図 2】

本発明に係るエッチング装置に用いる開口プレートの一部を拡大して示す図である。

## 【図 3】

従来のエッチング装置を用いて形成した太陽電池素子を示す図である。

## 【図 4】

従来のエッチング装置を示す図である。

【図 5】

従来の他のエッチング装置を示す図である。

【図 6】

従来のエッチング装置で用いていた開口プレートを示す図である。

【図 7】

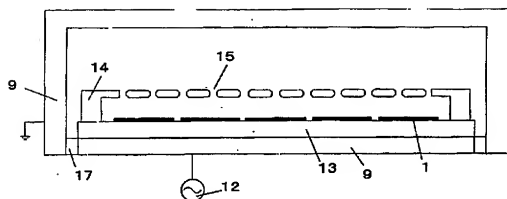
従来のエッチング方法を示す図である。

【符号の説明】

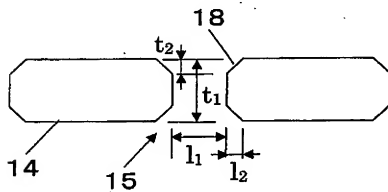
1 ; シリコン基板、2 ; 凹凸、3 ; 受光面側の不純物拡散層、4 ; 裏面側の不純物拡散層 ( B S F ) 、5 ; 反射防止膜、6 ; 表面電極、7 ; 裏面電極、8 ; マスフローコントローラ、9 ; R F 電極、1 0 ; 圧力調整器、1 1 ; 真空ポンプ、1 2 ; R F 電源、1 3 ; トレイ、1 4 ; 開口プレート、1 5 ; 開口部、1 6 ; 側壁部、1 7 ; 絶縁体、1 8 ; 面取り部

【書類名】 図面

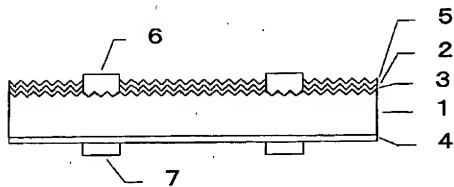
【図1】



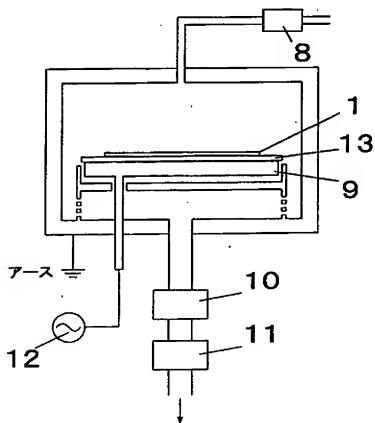
【図2】



【図3】

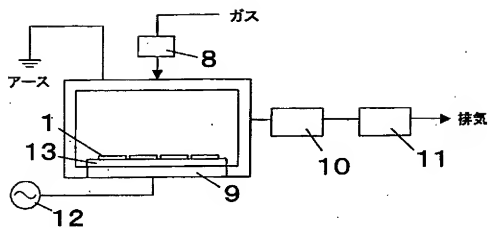


【図4】

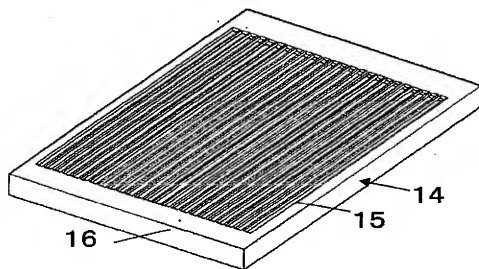




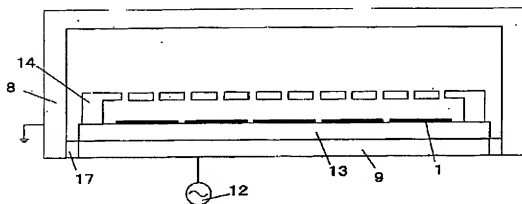
【図5】



【図6】



【図7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 開口プレートの開口部近傍でのプラズマを安定化させて、基板の表面に凹凸を効率よく均一に形成する。

【解決手段】 エッチングされる基板の表面側に開口部が多数形成された開口プレート 1 4 を配置したエッチング装置であって、上記開口プレート 1 4 の開口部 1 5 の対向する端面の角部に面取り部を設ける。

【選択図】 図 1

特2002-249673

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2002-249673	
受付番号	50201281764	
書類名	特許願	
担当官	第五担当上席	0094
作成日	平成14年 8月29日	

<認定情報・付加情報>

【提出日】

平成14年 8月28日

次頁無

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006633]

1. 変更年月日 1998年 8月21日

[変更理由] 住所変更

住 所 京都府京都市伏見区竹田島羽殿町6番地  
氏 名 京セラ株式会社

[Name of Document] DESCRIPTION

[Title of the Invention] ETCHING APPARATUS, ETCHING METHOD,  
AND OPENING PLATE USED THEREIN

[Scope of Claims for a Patent]

[Claim 1]

An etching apparatus with an opening plate placed on a surface of a substrate to be etched, said opening plate being provided with a number of opening portions, characterized in that a chamfered portion is formed on a corner of opposing end faces of the opening portion of the opening plate.

[Claim 2]

The etching apparatus according to claim 1, characterized in that the opening plate is made of metal.

[Claim 3]

The etching apparatus according to claim 1 or 2, characterized in that the opening plate is made of aluminum.

[Claim 4]

The etching apparatus according to any one of claims 1 to 3, characterized in that the etching apparatus is a reactive ion etching apparatus.

[Claim 5]

An etching method, in which an opening plate provided with a plurality of opening portions is placed on a surface of a substrate to be etched, characterized in etching with a chamfered portion formed on a corner of opposing end faces of the opening portion of the opening plate.

[Claim 6]

An opening plate for an etching apparatus, provided with a number of opening portions and placed on a surface of a substrate to be etched, characterized in that a chamfered portion is formed

on a corner of opposing end faces of the opening portion of the opening plate.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Technical Field Pertinent to the Invention]

The present invention relates to an etching apparatus, an etching method, and an opening plate used therein and, more particularly to an etching apparatus, an etching method suitably used in roughening a surface of a silicon substrate used in a solar cell or the like, and an opening plate used therein.

[0002]

[Prior Art and Problems to Be Solved by the Invention]

A solar cell is an element that converts incident light energy into electrical energy. Main solar cells are classified into crystal-based, amorphous-based, and compound-based solar cells depending on materials used. Among others, crystalline silicon solar cells account for a large percentage of the solar cells currently available on the market. The crystalline silicon solar cells are further classified into single-crystalline type and multi-crystalline type. A silicon solar cell of a single-crystalline type has an advantage that efficiency can be readily improved due to the substrate of high quality, but has a drawback that the manufacturing cost of the substrate is high. On the contrary, a multi-crystalline type silicon solar cell has a drawback that efficiency cannot be readily improved due to the substrate of inferior quality, but has an advantage that the manufacturing cost is low. In addition, in recent years, improvement in quality of the multi-crystalline silicon substrate and advancement in the cell fabrication technique have made it possible to achieve conversion efficiency

of approximately 18% at the research level.

[0003]

On the other hand, while multi-crystalline type solar cells at the mass-production level have been available on the market because they can be manufactured at a low cost, the demand is now on the increase due to growing concern about environmental issues in recent years, and there is a need to achieve higher conversion efficiency at a low cost.

[0004]

Many attempts have been made to improve the efficiency of conversion to electrical energy. One such attempt relates to a technique of reducing reflection of light incident on the substrate, and conversion efficiency to electrical energy can be improved by reducing reflection of light.

[0005]

In a case where a solar cell is fabricated from a silicon substrate, reflection on the surface of the substrate can be reduced to some extent by etching the surface of the substrate with alkaline aqueous solution, such as sodium hydroxide, to form fine unevenness on the surface.

[0006]

In the case of a single-crystalline silicon substrate having a (100)-plane orientation, a pyramid structure called a texture structure can be formed on the surface of the substrate by the method described above. Etching with alkaline aqueous solution, however, depends on the plane orientation of crystals, and for this reason, in a case where a solar cell is fabricated from a multi-crystalline silicon substrate, a pyramid structure cannot be formed homogeneously, which raises a problem that overall reflectance cannot be reduced effectively.



[0007]

In order to eliminate such problems, there has been proposed an idea of forming fine unevenness on a surface of a substrate through the reactive ion etching method when a solar cell element is fabricated from multi-crystalline silicon (see Japanese Patent Publication No. 60-27195 and Japanese Patent Application Laid-Open Nos. 5-75152 and 9-102625). In other word, this idea is to reduce reflectance of a solar cell element particularly using multi-crystalline silicon more effectively by forming fine unevenness homogeneously regardless of anomalous plane orientations of the multi-crystalline silicon.

[0008]

FIG. 3 illustrates a structure of a solar cell element. In FIG. 3, numeral 1 denotes a silicon substrate, numeral 2 denotes unevenness, numeral 3 denotes an impurity diffusion layer on the light-receiving surface side, numeral 4 denotes an impurity diffusion layer on the back side surface (BSF), numeral 5 denotes an anti-reflection film, numeral 6 denotes a surface electrode and numeral 7 denotes a back surface electrode.

[0009]

The silicon substrate 1 is a single-crystalline or multi-crystalline silicon substrate. This substrate may be either of p-type or n-type. The silicon substrate 1 is fabricated through the Czochralski method or the like in the case of single-crystalline silicon, and through casting method or the like in the case of the multi-crystalline silicon. Multi-crystalline silicon is quite advantageous over single-crystalline silicon in terms of the manufacturing costs because it can be mass-produced. An ingot made through the Czochralski method or the casting method is sliced into a

thickness of approximately 300  $\mu\text{m}$  and cut into a silicon substrate with a size of approximately 15 cm  $\times$  15 cm.

[0010]

On the surface side of the silicon substrate, there is formed fine unevenness 2 to effectively take in the input light without reflecting it. This is performed as follows. That is, a gas is introduced into an evacuated chamber to maintain a constant pressure, and plasma is generated by applying RF voltage to the electrode provided inside the chamber. The surface of the substrate is then etched by the action of resulting activated seeds, such as ions and radicals. In this method referred to as the reactive ion etching (RIE) method, apparatuses as illustrated in FIGS. 4 and 5 are used.

[0011]

In FIGS. 4 and 5, numeral 8 denotes a massflow controller, numeral 9 denotes an RF electrode, numeral 10 denotes a pressure regulator, numeral 11 denotes a vacuum pump, numeral 12 denotes an RF power supply and numeral 13 denotes a tray. Gas is introduced from a massflow controller 8 into the apparatus, and RF electric power is introduced from an RF electrode 9 to generate plasma, by which ion or radical is excited and activated, and the surface of the silicon substrate 1 on a tray 13 placed on the top of the RF electrode 9 is etched by the action of the ions and radicals. In the apparatus shown in FIG. 4, the surface of a single silicon substrate 1 is etched by providing the RF electrode 9 inside the apparatus. On the contrary, in the apparatus shown in FIG. 5, the surfaces of a plurality of silicon substrates 1 are etched concurrently by providing the RF electrode 9 on the outside wall of the apparatus.

[0012]

A method in which, of all the generated active species, the effect of etching by the action of ions is enhanced is generally referred to as the reactive ion etching method. Similar methods include plasma etching. The generation principle of plasma is basically the same, where the distributions of kinds of active species acting upon a substrate are only changed into different distributions depending upon a chamber structure, electrode structure or generated frequency.

[0013]

Basically, silicon evaporates when it is etched. However, it does not evaporate completely and molecules bond to one another, thereby being left as residuals on the surfaces of the substrate. When a gas condition, reaction pressure or RF power is defined so that silicon residue remains on the surface of a silicon substrate, unevenness 2 can be reliably formed. On the contrary, under such a condition that no residue remains on the surface of a substrate 1, it is difficult to form unevenness.

[0014]

However, conditions for forming unevenness are delicate and change with the structure of an apparatus. Where fine unevenness 2 cannot be formed homogeneously, the photoelectric conversion efficiency of a solar cell drops. Accordingly, the conversion efficiency of the solar cells must be improved to reduce the cost since the value of individual solar cells is determined by the power generation efficiency thereof.

[0015]

A reactive ion etching apparatus used in the reactive ion etching method is generally of a parallel plate electrode type, wherein an RF voltage is applied to the side of electrode 9 on which a substrate 1 is placed and the electrode on the other

side and an inner sidewall are connected to the ground. The interior of the container is evacuated by an evacuating pump and, while the pressure is maintained constant by introducing etching gas, a substrate 1 placed inside is etched. Because of the procedure described above, waiting times for evacuation and leaking to atmosphere are long in a reactive ion etching apparatus. In many cases, the reactive ion etching apparatus is used for precise small-sized semiconductor devices such as LSIs, however, in the case of a solar cell, the solar cell itself is large and only a small number of substrates can be processed at a time. Therefore, there is a problem that the manufacturing cost is increased. Accordingly, in using the reactive ion etching apparatus in a solar cell manufacturing process, an important point is how the process time per substrate is shortened.

[0016]

One method for shortening process time per substrate has been disclosed in Japanese Patent Application Laid-Open No. 2001-130430. In this method, the roughing method for a silicon substrate 1, where while etching residue is being deposited onto the silicon substrate, etching and roughing are performed and subsequently, the etching residue is removed. At this time, to promptly form residue serving as a mask during dry etching and accelerate formation of unevenness 15, the substrate 1 is covered with an opening plate 14 provided with a number of openings 15 before etching. The formation speed of the unevenness 2 is improved, and etching homogeneousness within a batch is improved with this method.

[0017]

FIG. 6 illustrates the opening plate 14. In FIG. 6, numeral

15 denotes an opening portion and numeral 16 denotes a sidewall portion. FIG. 7 illustrates a state in which the opening plate 14 is disposed on the substrate 1. In FIG. 7, numeral 14 denotes an opening plate, numeral 1 denotes a substrate to be etched, such as a silicon substrate, numeral 13 denotes a tray, numeral 9 denotes an RF electrode, numeral 17 denotes an insulator and numeral 18 denotes a chamber wall. The opening plate 14 is disposed spaced from the silicon substrate 1 by an appropriate interval.

[0018]

Use of this method enables etching of a large area during dry etching, thus a number of substrates 1 can be etched concurrently. In addition, the formation speed of unevenness 2 is improved to shorten processing time, thus processing time per substrate can be significantly reduced.

[0019]

As a method for maintaining a distance between the opening plate 14 and the silicon substrate 1, forming the sidewall portion 16, for example, as shown in FIG. 6, is simple. A method for etching while covering the silicon substrate 1 with the opening plate 14 is effective, particularly for a large area in which an etching area exceeds 1 m square. However, if such an opening plate 14 having a large area is manufactured, it is distorted by the deadweight of the opening plate 14 itself. Because the opening plate 14 is heated by plasma during etching, deformation due to the deadweight may further accelerate. The larger the area is, the more difficult it becomes to precisely control the distance between the silicon substrate 1 and the opening plate 14. In such a case, increasing the thickness of the opening plate 14 or the height of the sidewall portion 16 is effective

as a countermeasure to be taken. Because even increasing the thickness of the opening plate 14 may not decrease the distortion because of an increase in the deadweight, a method of reducing the thickness of the central portion of the opening plate 14 is also effective. However, even if the thickness of a central portion is reduced, the dimension of at least a peripheral portion must be increased. The deformation problem of the opening plate 14 can be solved by increasing its thickness.

[0020]

However, there rises the problem that increasing the thickness of the opening plate 14 causes plasma to become unstable in individual areas of the opening portions 15 and, if the plasma becomes too unstable, no unevenness is formed. For example, given 3 mm as a distance between the opposing end faces of the opening portion 15 of the opening plate 14, plasma remains stable when the thickness is 5 mm or less; however, when the thickness exceeds 5 mm, plasma is destabilized, and the efficiency of forming unevenness is deteriorated.

[0021]

A measure to prevent plasma from being destabilized is to enlarge the opening width between end faces of opening portions 15 is increased, or to decrease the thickness of the opening plate 14 is effective. However, when the opening width between the opposing end faces of the opening portion 15 is increased, the residue trapping effect is reduced. The effect of promoting the formation of residues on the surface of the substrate 1 directly below is then reduced, which in turn slows down the formation of the unevenness. The formation speed is different from that of unevenness on the surface of the silicon substrate 1 at a portion without opening portion 15, which results in

irregularity.

[0022]

The opening width of the opening portions 15 is originally set in such a manner that the unevenness is will be formed more effectively by consideration to the opening shape, an open area ratio, opening pitches of the overall opening plate 14, a distance between the opening plate 14 and the substrate 1, and the like. Hence, regulating the opening width of the opening portions 15 with the aim to stabilize plasma may result in a failure to achieve the original object, and provides no essential solution.

[0023]

In view of the foregoing problem with the conventional technique that the plasma becomes unstable at the opening portions of an opening plate, it is an object of the present invention to provide an etching apparatus and an etching method for efficiently and homogenously forming unevenness on a surface of a semiconductor substrate, in particular, a silicon substrate used for a solar cell, and an opening plate used therein.

[0024]

[Means for Solving the Problems]

In order to attain the above-mentioned object, an etching apparatus according to claim 1 of the present invention includes an opening plate placed on a surface of a substrate to be etched, said opening plate being provided with a number of opening portions, and is characterized in that a chamfered portion is formed on a corner of opposing end faces of the opening portion of the opening plate.

[0025]

In the etching apparatus, preferably, the opening plate is made of metal and more preferably is made of aluminum.

[0026]

Preferably, the etching apparatus is a reactive ion etching apparatus.

[0027]

In an etching method according to claim 5 of the present invention, an opening plate provided with a plurality of opening portions is placed on a surface of a substrate to be etched, and the method is characterized in etching with a chamfered portion formed on a corner of opposing end faces of the opening portion of the opening plate.

[0028]

An opening plate according to claim 6 of the present invention is provided with a number of opening portions and placed on a surface of a substrate to be etched, and is characterized in that a chamfered portion is formed on a corner of opposing end faces of the opening portion of the opening plate.

[0029]

[Mode for Carrying out the Invention]

An embodiment of the present invention will be specifically described with reference to the accompanying drawings.

FIG. 1 shows an etching apparatus according to the present invention. In FIG. 1, numeral 14 denotes an opening plate, numeral 1 denotes a substrate to be etched, such as a silicon substrate, numeral 13 denotes a tray, numeral 9 denotes an RF electrode, numeral 17 denotes an insulator and numeral 18 denotes a chamber wall.

[0030]

FIG. 2 shows an enlarged view of an opening portion 15 in an opening plate. As shown in FIG. 2, in the present invention, a corner of opposing end faces of an opening portion 15 is chamfered



to form a chamfered portion 18 and hence the thickness of the opening plate 14 can be apparently reduced in the vicinity of the opening portions 15 where plasma is readily destabilized, and plasma can be thus generated stably. In the example described above, when an opening plate 14 made of aluminum with 3 mm as opening width  $l_1$  and 6 mm as thickness  $t_1$  is used, a width  $l_2$  and a height  $t_2$  form a C surface of 0.9 mm or greater, respectively, thereby stably forming plasma. The width  $l_2$  of the chamfered portion 8 varies depending on etching conditions and can be defined according to the respective conditions. Accordingly, the present invention is not limited to these values.

[0031]

As the chamfered portion 18, for example, an R surface may be formed, and in any case, any form that can apparently reduce the thickness of the opening plate 14 at the opening portion 5 is applicable. In addition, in this example, the opening portions 15 of the opening plate 14 are shaped like a slit. However, opening portions 15 may be of a circular shape or a rectangular shape. Also, the opening pattern may be a grid pattern or zigzag pattern or the like.

[0032]

The open area ratio, which is the ratio of the opening portions 15 with respect to a flat portion in the opening plate 14, plays an important role in forming unevenness. Preferably, the open area ratio is 5 to 40%. Where the open area ratio is smaller than 5%, supply of gas required for silicon etching becomes insufficient and the formation speed of residue becomes low, and therefore unevenness formation is delayed. On the contrary, where the open area ratio is larger than 40%, the effect of trapping residue formed from silicon compound generated during

etching between the opening plate 14 and the substrate 1 becomes reduced, thus reducing the residue forming effect.

[0033]

The present invention is particularly advantageous in etching such a large area that an etching chamber area exceeds 1 m square, but is effectively applicable in a case of a small area as well. When there is a hardware problem due to which it is impossible to sufficiently improve homogeneousness by changing other etching conditions, the present invention is particularly effective.

[0034]

The material of the opening plate 14 may be either aluminum or glass material. Where ease of processing the opening plate 14 is concerned, metal is preferable, however stainless steel or the like is not suitable because the stainless steel corrodes when exposed to the gas used to etch silicon. On the other hand, during etching, the metal generates heat because of exposure to plasma. The temperature varies greatly with the conditions and, in the process, the substrate is removed to let stand in air when formation of unevenness is completed after the temperature rises in plasma. Therefore, it is preferable to use a material that can withstand a temperature change. In a case where a number of substrates to be etched are aligned and etching is performed across a large area at a time, it is preferable to use metal because glass material is so brittle that it readily breaks. Since the processing performance is such that it allows various kinds of processing on the opening plate 14, a small self-weight is desired in order to reduce deformation of the opening plate 14, and considering the point of corrosion resistance to the gas used for etching, it is particularly

preferable to use an opening plate 14 made of aluminum as the primary component.

[0035]

[Effects of the Invention]

As described above, according to the present invention, an etching apparatus includes an opening plate formed with a plurality of opening portions placed on the surface side of a substrate to be etched, having a chamfered portion formed on a corner of an end face of the opening plate opposing the opening portion. Accordingly, the chamfered portion can stabilize unstable plasma conditions generated by increasing the thickness to increase the distortion resistance of the opening plate and hence etching in a large area can be performed, unevenness can be formed on the surface of a silicon substrate with high tact and at low cost, thereby forming a solar cell with high efficiency.

[0036]

The etching method according to claim 5 implements etching using an opening plate formed with a chamfered portion provided on a corner of an end face opposing an opening portion. This configuration can stabilize unstable plasma conditions generated by increasing the thickness to increase the distortion resistance of the opening plate and hence etching in a large area can be performed, unevenness can be formed on the surface of a silicon substrate with high tact and at low cost, thereby forming a solar cell with high efficiency.

[0037]

The opening plate for etching apparatus according to claim 6, in which a chamfered portion is provided at a corner of an end face opposing the opening portion, can stabilize unstable plasma conditions generated by increasing the thickness to

increase the distortion resistance of the opening plate and hence etching in a large area can be performed, unevenness can be formed on the surface of a silicon substrate with high tact and at low cost, thereby forming a solar cell with high efficiency.

[Brief Description of the Drawings]

[FIG. 1] FIG. 1 is a view illustrating an etching apparatus according to the present invention.

[FIG. 2] FIG. 2 is a partially enlarged view showing an opening plate used in an etching apparatus according to the present invention.

[FIG. 3] FIG. 3 is a view showing a solar cell element formed using a conventional etching apparatus.

[FIG. 4] FIG. 4 is a view showing a conventional etching apparatus.

[FIG. 5] FIG. 5 is a view showing another conventional etching apparatus.

[FIG. 6] FIG. 6 is a view showing an opening plate used in a conventional etching apparatus.

[FIG. 7] FIG. 7 is a view showing a conventional etching method.

[Description of Reference Numerals]

- 1 SILICON SUBSTRATE
- 2 UNEVENNESS
- 3 IMPURITY DIFFUSION LAYER ON LIGHT-RECEIVING SURFACE SIDE
- 4 IMPURITY DIFFUSION LAYER ON BACK SIDE SURFACE (BSF)
- 5 ANTI-REFLECTION FILM
- 6 SURFACE ELECTRODE
- 7 BACK SURFACE ELECTRODE
- 8 MASSFLOW CONTROLLER
- 9 RF ELECTRODE
- 10 PRESSURE REGULATOR

- 11 VACUUM PUMP
- 12 RF POWER SUPPLY
- 13 TRAY
- 14 OPENING PLATE
- 15 OPENING PORTION
- 16 SIDE WALL PORTION
- 17 INSULATOR
- 18 CHAMFERED PORTION

[Name of Document] ABSTRACT

[Summary]

[Problem] To efficiently and homogenously form unevenness on a surface of a substrate by stabilizing plasma in the vicinity of an opening portion in an opening plate.

[Solving Means] An etching apparatus with an opening plate 14 placed on a surface of a substrate to be etched, the opening plate 14 being provided with a number of opening portions, wherein a chamfered portion is formed on a corner of opposing end faces of the opening portion 15 of the opening plate 14.

[Selected Diagram] FIG. 1